

# 东方粘虫飞行初期糖类的动用和消耗\*

王宗舜 欧阳迎春

(中国科学院动物研究所 北京 100080)

**摘要** 本文研究了静态和飞翔开始阶段东方粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 飞翔肌、脂肪体及肠道内糖元和海藻糖以及血淋巴内海藻糖含量的动态变化。飞行 1 h 后脂肪体内消耗糖元最多,约占总消耗糖类的 80%—90%;其次是肠道组织的糖元消耗,飞翔肌内糖类含量是有限的,仅够飞翔最初时期(3min)使用。在此时期,飞翔肌海藻糖含量上升然后下降,脂肪体和肠道海藻糖经历下降和继而上升的变化。然而,血淋巴内海藻糖含量一直下降到流入和流出量持平。雄蛾飞翔肌糖类代谢水平高于雌蛾飞翔肌。

**关键词** 东方粘虫,飞翔肌,脂肪体,肠道,血淋巴,糖元,海藻糖

昆虫产生能量的代谢途径大体上与脊椎动物的代谢途径相似<sup>[1,2]</sup>。然而,肌肉运动可以导致代谢速率不同量级的增加,脊椎动物最大可增加 5 倍,昆虫可高达 100 倍<sup>[3]</sup>。那是因为昆虫工作着的飞翔肌具有丰富的气管系统进行气体交换,使能源物质始终是在有氧条件下进行降解和代谢。另一方面,昆虫血淋巴能够有效地运输代谢物质,保证能源物质的供应。

昆虫飞翔肌可以有效地得到燃料和氧气的供应,使迁飞昆虫能够长时间飞翔<sup>[4]</sup>。其飞翔能力依赖于飞翔期间所氧化物质的成分。少数昆虫利用氨基酸(脯氨酸)作为氧化基质,只能进行适度的飞翔<sup>[5,6]</sup>。绝大多数昆虫是利用糖类(许多双翅目和膜翅目昆虫)、脂类(一些鳞翅目昆虫)或两类物质的结合(直翅目和许多鳞翅目昆虫)<sup>[7,8]</sup>。从重量观点看,脂类的能量储备最为经济。很显然,只有能够利用脂类作为飞翔肌能源物质的那些昆虫才会有能力进行长时间不间断的迁飞。

东方粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 是我国农业主要害虫之一,具有远距离迁飞的能力。邹运鼎等<sup>[9]</sup>以及孙金如<sup>[10]</sup>已经证实脂肪是粘虫迁飞的主要能源物质。本研究的目的是检查粘虫在飞翔时是否利用糖类作为能源物质(或补充能源物质)。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验动物

东方粘虫虫卵由中国农业科学院植保所提供。孵化出幼虫在 25℃,长日照(16h 光:8h 暗)条件下以人工饲料喂养。老熟幼虫放入装有消毒湿土的玻璃缸内化蛹。羽化蛾喂

\* 国家自然科学基金资助项目。

本文于 1993 年 11 月收到。

10%蔗糖溶液。取羽化第二天雌雄蛾进行不同时间(0、1、2、3、5、10、15、30和60min)吊飞处理。处理后,立即取血,摘取脂肪体、飞翔肌和中肠。称重后储存于 $-25^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱内待用。

### 1.2 组织中糖元含量的测定

取定量组织加2ml 30% KOH,沸水浴30min,直到组织水解液清澈透明无颗粒为止。冷却后移入离心管,加5ml无水乙醇(使乙醇浓度不低于70%)。将离心管放在冰箱内过夜,次日离心(10min, 3500 r/min),弃上清液。再将沉淀溶于1ml蒸馏水中,并加入6ml无水乙醇,在冰箱内放置2—4h,离心弃上清液,用1ml蒸馏水溶解即得糖元待测液。以蒽酮试剂测定糖元含量<sup>[11]</sup>,葡萄糖作标准液,波长620nm进行比色(UV-754分光光度计)。

### 1.3 血淋巴海藻糖的分离和测定

取一定量血淋巴,经无水甲醇和氯仿(2:1V/V)处理去蛋白质,上清液内再依次加入1/2体积氯仿和1/2体积蒸馏水彻底混匀,静置分层,收集甲醇-水相蒸发甲醇。用薄层层析法进行海藻糖的分离<sup>[12]</sup>,分离出的海藻糖浸提液用蒽酮试剂测定含量,以标准海藻糖作为标准液。

## 2 结果

### 2.1 飞翔蛾对糖类的利用

表1列出粘虫蛾在静态和飞行1h后,几种组织内糖元和海藻糖含量的变化。其中以脂肪体糖类消耗最多,约占总消耗糖类的80%—90%;其次是肠道组织糖类的消耗。而飞翔肌内糖类含量是有限的,必须依赖储存器官提供糖类作为飞行的能量。

表1 粘虫蛾在静态和飞行1h后几种组织内糖元和海藻糖含量

组 织	糖元 ( $\mu\text{g/g}$ 组织)		海藻糖 ( $\mu\text{g/g}$ 组织)		
	♂	♀	♂	♀	
飞翔肌	静态	$22.80 \pm 1.82$	$19.78 \pm 1.53$	$25.23 \pm 1.40$	$16.60 \pm 1.34$
	动态	$10.73 \pm 1.16$	$10.83 \pm 1.65$	$13.50 \pm 0.90$	$16.80 \pm 1.15$
脂肪体	静态	$8.83 \pm 1.61 \times 10^3$	$11.20 \pm 2.26 \times 10^3$	$51.48 \pm 2.96$	ND
	动态	$1.48 \pm 0.30 \times 10^3$	$5.96 \pm 1.37 \times 10^3$	$21.53 \pm 2.08$	ND
肠 道	静态	$0.24 \pm 0.05 \times 10^3$	$0.27 \pm 0.07 \times 10^3$	$85.20 \pm 4.92$	ND
	动态	$0.15 \pm 0.02 \times 10^3$	$0.11 \pm 0.03 \times 10^3$	$70.53 \pm 4.62$	ND
血淋巴	( $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ )				
	静态			$3.54 \pm 0.21 \times 10^3$	ND
飞行 (30min)			$1.85 \pm 0.17 \times 10^3$	ND	

注:表中数据为两批蛾4次重复平均数;ND为未测定。

### 2.2 飞翔肌内糖类代谢

图1显示粘虫蛾开始1h连续飞翔期间,飞翔肌内糖元和海藻糖含量的变化。在飞翔头15min,糖元含量下降到约为开始值的一半,30min之后糖元含量趋于稳定状态,表明飞翔肌不再动用本身组织内的糖元作为飞翔时的能量。然而,海藻糖在飞翔肌内的含

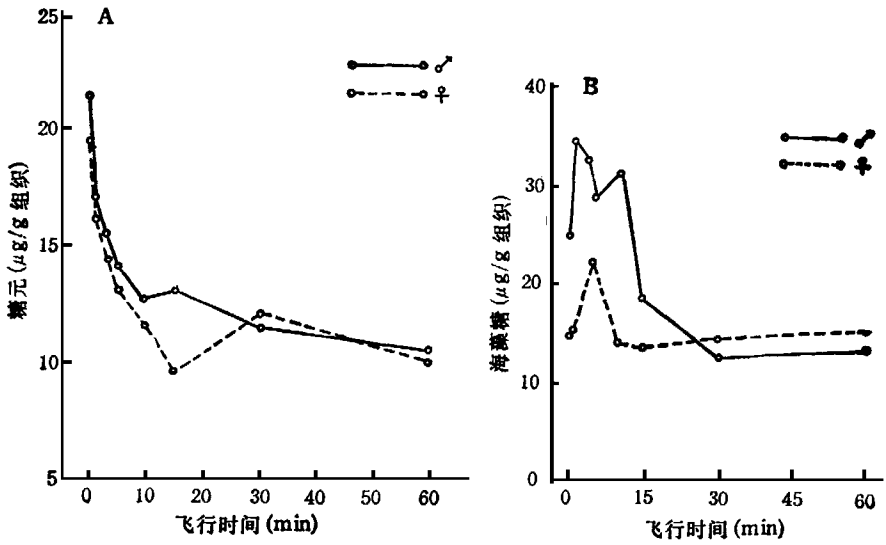


图 1 粘虫蛾在开始飞翔 1h 期间飞翔肌内糖元 (A) 和海藻糖 (B) 含量的变化

量在飞翔头 5min 是呈上升趋势, 说明粘虫飞翔肌一开始没有动用海藻糖, 只是动用糖元。飞行 5—10min, 海藻糖含量急剧下降, 15min 后海藻糖浓度趋于平衡。此外, 从图 1B 可以看出, 飞翔肌海藻糖含量变化表现出性别差异, 静态雄蛾海藻糖含量比静态雌蛾几乎高 1 倍。

### 2.3 脂肪体储存糖类的动用

从图 2A 可以清楚地看出, 粘虫蛾在飞翔头 15min 脂肪体内储存糖元含量急剧下降。雄蛾脂肪体糖元含量下降幅度大大超过雌蛾脂肪体下降幅度, 雄蛾下降大约 70%, 雌蛾下降 50%。在此期间, 脂肪体内海藻糖含量变化与糖元含量变化相协调。飞翔头 3min

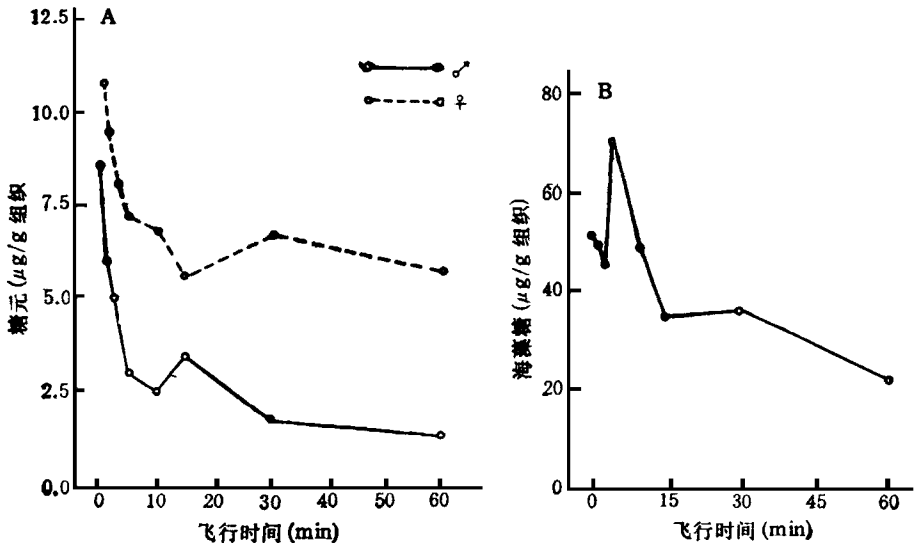


图 2 粘虫蛾在开始飞翔 1h 期间脂肪体内糖元 (A) 和海藻糖 (B) 含量变化

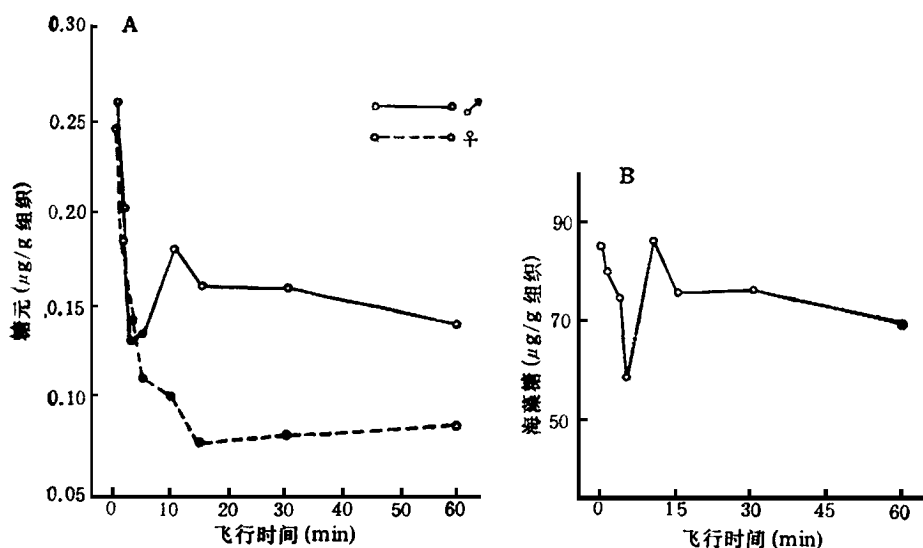


图3 粘虫蛾在开始飞期1h期间肠道组织内糖元(A)和海藻糖(B)含量变化

脂肪体海藻糖含量下降,可能是由于部分海藻糖释放进入血淋巴,此时海藻糖合成活动尚未开始,随后海藻糖含量上升(图2B),可能是由于糖元降解和海藻糖合成活动的增加。飞翔15min之后脂肪体海藻糖水平降低到静态蛾水平的40%—60%。

## 2.4 肠道组织内糖类的动用

粘虫蛾在飞翔期间,肠道组织糖元和海藻糖含量的变化情况与脂肪体糖元和海藻糖含量变化趋势相似(图3)。所不同的是(1)肠道组织糖元含量水平(约0.2mg/g组织)比脂肪体糖元含量水平(8—10mg/g组织)低一个数量级;(2)雌蛾肠道组织糖元含量下降幅度大大超过雄蛾肠道(图3A);而不是雄蛾脂肪体糖元下降幅度超过雌蛾。以上结果表明肠道可以为粘虫蛾飞行时提供有限的能源。

## 2.5 血淋巴海藻糖库的动态变化

粘虫蛾飞翔活动一起动(1—5min),处于高浓度的血淋巴海藻糖迅速下降,这是由于在此时期只有海藻糖的流出,没有海藻糖的流入。飞翔5—10min之后,血淋巴海藻糖浓度稳定到原来静态海藻糖水平的50%(图4)。这种血淋巴海藻糖含量的动态稳定是飞翔肌利用海藻糖(流出)与由脂肪体和肠道供应的海藻糖(流入)的水平达到平衡的结果。

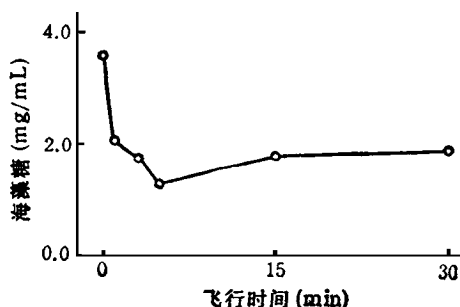


图4 粘虫雄蛾在开始飞翔30min期间血淋巴内海藻糖含量的变化

## 3 讨论

在昆虫,两种最主要的糖类是糖元和海藻糖<sup>[2]</sup>。糖元主要储存于脂肪体,其次是飞翔肌和肠道<sup>[13,14]</sup>。海藻糖是血淋巴内的主要糖类<sup>[15]</sup>。本研究结果证明粘虫蛾在飞翔的开始

阶段主要是利用糖类作为飞翔肌的能量物质。飞翔肌储备的糖类是有限的,仅够飞翔起动的需要(约 3min),以后就必须动员脂肪体和肠道供应能量物质,以海藻糖形式通过血淋巴进入飞翔肌。图 5 模式总结了飞翔粘虫蛾各组织之间糖类代谢的相互关系。

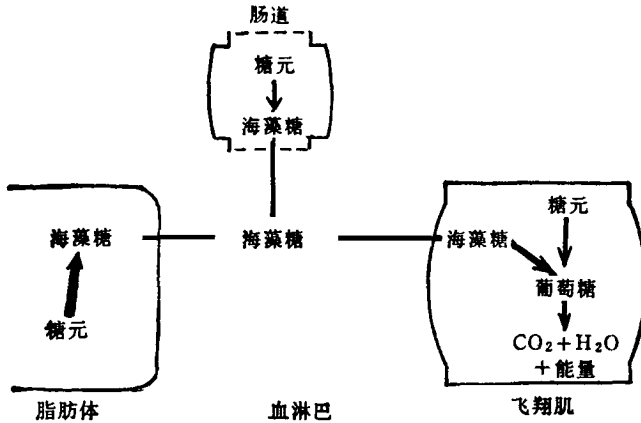


图 5 飞翔时粘虫蛾各器官糖类代谢的相互关系

在飞蝗飞翔期间,飞翔肌内糖类的变化发生在飞翔的头 10min,其后维持在几乎恒定的水平上,是静态糖类水平之半<sup>[16]</sup>。在沙漠蝗,仅在飞翔 10 s 之后飞翔肌糖元就消耗 2/3 以上,3min 之后糖元不再减少<sup>[17]</sup>。东方粘虫蛾飞翔开始阶段(3min)直接利用飞翔肌所含糖元,与蝗虫相似。然而,在黑丽蝇(*Phormia regina*)飞翔肌内,海藻糖是开始启动时的能量物质,在飞翔头 30s 期间,海藻糖浓度迅速下降,飞翔 2min 后糖元成为飞翔肌的主要能源<sup>[18]</sup>。

飞翔开始阶段利用糖类作为主要能源物质,持续飞行期间则使用脂类作为能源物质的昆虫(直翅目和一些鳞翅目昆虫)是否还在持续利用部分糖作能源? Van der Horst 等<sup>[19]</sup>使用  $^{14}C$  标记海藻糖法,明确了飞蝗在持续飞翔期间维持使用糖类作为飞翔肌的能源这一观点,是飞翔肌提供消耗能量的 1/4,其余的 3/4 消耗能量由脂类提供。东方粘虫蛾飞翔开始阶段利用糖类,在持续飞翔时期是否也部分利用糖类作为飞翔肌活动的能源这一问题还有待进一步研究。

在飞翔期间,动用脂肪体的基质是在神经激素调控之下<sup>[20]</sup>。在飞翔开始之后,心侧体释放激脂激素(AKH I 和 AKH II),诱导脂肪体释放脂类物质(包括飞翔特异脂蛋白的形成)<sup>[21]</sup>。AKH I 对飞蝗脂肪体内糖元磷酸化酶具有激活作用<sup>[22,23]</sup>。AKH II 除了具有激脂作用外,还参与血淋巴内糖类浓度的调节<sup>[25]</sup>。在沙漠蝗,有人证明飞翔能引起血淋巴内多巴胺水平上升<sup>[26]</sup>和多巴胺刺激脂肪体释放脂类物质<sup>[27]</sup>。那么,东方粘虫蛾飞翔期间能量代谢的激素调节是如何实行的,将是今后十分有意义的研究课题。

## 参 考 文 献

- 1 Candy, D. J. Intermediary metabolism. In: Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology (Edited by G. A. Kerkut and L. I. Gilbert). 1985, vol. 10, pp. 1--41. Pergamon Press, Oxford.

- 2 Friedman, S. Carbohydrate metabolism. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology* (Edited by G. A. Kerkut and L. I. Gilbert). 1985, vol. 10, pp. 43—76. Pergamon Press, Oxford.
- 3 Sacktor, B. Utilization of fuels by muscle. In: *Insect Biochemistry and Function* (Edited by D. J. Candy and B. A. Kilby), 1975, pp. 1—81. Chapman and Hall, London.
- 4 Beenackers, A. M. Th., *et al.* Insect flight muscle metabolism. *Insect Biochem.*, 1984, **14**(3):243—260.
- 5 Bursell, E. The role of proline in energy metabolism. In: *Energy Metabolism in Insects* (Edited by R. G. H. Downer) 1981, pp. 135—154. Plenum Press, New York.
- 6 Weeda, E., *et al.* Fuels for energy metabolism in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say. *J. Insect Physiol.* 1979, **25**:951—955.
- 7 Beenackers, A. M. Th. Carbohydrate and fat as a fuel for insect flight. A comparative study. *J. Insect Physiol.* 1969, **15**:353—361.
- 8 Sacktor, B. Energetics and respiratory metabolism of muscular contraction. In: *The Physiology of Insecta* (Edited by M. Rockstein), 1965, vol. 2, pp. 483—580. Academic Press, New York.
- 9 邹运鼎, 等. 粘虫迁飞能量物质的研究. 1984, *生态学报*, **4**(4): 372—376.
- 10 孙金如, 不同地区, 不同世代粘虫蛋白质, 脂肪, 糖含量测定结果初报. *中国农业科学*, 1986, **19**(6): 65—70.
- 11 Mokrasch, L. C. Analysis of hexose phosphates and sugar mixtures with the anthrone reagent. *J. Biol. Chem.* 1954. 208:55—59.
- 12 陆明贤, 等. 柞蚕蛹脂肪体和血淋巴中糖类含量动态的温度和光周期效应. *昆虫学报*, 1992, **35**(1): 1—7.
- 13 Mayer, R. J., D. J. Candy Changes in energy reserve during flight of the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Comp Biochem. Physiol.* 1969, **31**:409—418.
- 14 Van Marrewijk, W. J. A., *et al.* Regulation of glycogenolysis in the locust fat body during flight. *Insect Biochem.* 1980, **10**:675—679.
- 15 Wyatt, G. R. The biochemistry of sugars and polysaccharides in insects. *Adv. Insect Physiol.* 1967, **4**:287—360.
- 16 Worm, R. A., A. M. Th. Beenackers Regulation of substrate utilization in the flight muscle of the locust, *Locusta migratoria*, during flight. *Insect Biochem.* 1980, **10**:53—59.
- 17 Rowan, A. N., E. A. Newsholme. Changes in the contents of adenine nucleotides and intermediates of glycolysis and the citric acid cycle in flight muscle of the locust upon flight and their relationship to their control of the cycle. *J. Biochem.*, 1979, **178**:209—216.
- 18 Sacktor, B., E. Wormser-Shavit Regulation of metabolism in working muscle *in vivo*. I. Concentrations of some glycolytic, tricarboxylic acid cycle, and amino acid intermediates in insect flight muscle during flight. *J. Biol. Chem.*, 1966, **241**:624—631.
- 19 Van Marrewijk, W. J. A., *et al.* Dynamics in the haemolymph trehalose pool during flight of the locust, *Locusta migratoria*. *Insect Biochem.* 1978, **8**:413—416.
- 20 Beenackers, A. M. Th., *et al.* Biochemical processes directed to flight muscle metabolism. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology* (Edited by G. A. Kerkut and L. I. Gilbert) 1985, vol 10, pp. 451—486. Pergamon Press, Oxford.
- 21 Orchard, I., A. B. Lange The hormonal control of haemolymph lipid during flight in *Locusta migratoria*. *J. Insect Physiol.* 1983, **29**:639—642.
- 22 Gade, G. Activation of fat body glycogen phosphorylase in *Locusta migratoria* by corpus cardiacum extract and synthetic adipokinetic hormone. *J. Insect Physiol.* 1981, **27**:155—161.
- 23 Van Marrewijk, W. J. A., *et al.* Regulation of glycogen phosphorylase activity in fat body of *Locusta migratoria* and *Periplaneta americana*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 1983, **50**:226—234.
- 24 Van Marrewijk, W. J. A., *et al.* Hormonal control of fat body glycogen mobilization for locust flight. *Gen. Comp. Endocrinol.* 1986, **64**:136—142.
- 25 Orchard, I. Adipokinetic hormone—an update. *J. Insect Physiol.* 1987, **33**:451—463.
- 26 Goosey, M. W., D. J. Candy The D-octopamine content of the haemolymph of the locust, *Schistocerca americana gregaria* and its elevation during flight. *Insect Biochem.* 1980, **10**:393—397.
- 27 Candy, D. J. The regulation of locust flight muscle metabolism by octopamine and other compounds. *Insect Biochem.* 1978, **8**:177—181.

**CARBOHYDRATES MOBILIZATION AND UTILIZATION DURING INITIAL FLIGHT PERIOD IN THE MOTHS *MYTHIMNA SEPARATA* (WALKER)**

Wang Zongshun      Ouyang Yingchun

(Institute of Zoology, Academia Sinica Beijing 100080)

**Abstract**    The quantitative changes of glycogen and trehalose in the flight muscle, fat body and midgut as well as the trehalose level in the hemolymph of the adult armyworm *Mythimna separata* (Walker) during the initial period of flight were determined by means of TLC and colorimetric method. After one hour of flight the consumption of glycogen from the fat body reached the highest, accounting for about 80%—90% of the total carbohydrate consumed, and that from the midgut was rated the next. The amount of carbohydrate consumed from the flight muscle is so limited that as a fuel, it can only support flight for three minutes. During the flight period, concomitant with the decrease of trehalose concentration in hemolymph, the trehalose level in the flight muscle increased initially, decreased five minutes later, and reached a steady state at 15 to 30 minutes. However, the concentrations of trehalose in fat body and midgut decreased within 5 minutes at the beginning of flight, and then increased and approached a more or less constant level after thirty minutes of flight. The rate of carbohydrate metabolism in the male flight muscle was higher than that in the female.

**Key words**    *Mythimna separata* (Walker), flight muscle, fat body, midgut, hemolymph, glycogen, trehalose